

瓦楞纸箱板自动码垛机机械手设计初探

徐雪萌, 张永宇, 张映霞, 徐云

(河南工业大学, 郑州 450007)

摘要: **目的** 研究高效的、可集成于瓦楞纸箱生产线终端的瓦楞纸箱板自动码垛装置。**方法** 通过对六自由度码垛机器人和机械式码垛装置进行研究,在分析其优缺点的基础上,结合企业的技术要求设计瓦楞纸箱板自动码垛装置。在设计方案中采用AHP法,结合企业的要求和生产现场的状况,选择机械式码垛设计方案。**结果** 确定了新型瓦楞纸板箱码垛成套装置设计方案,论述了其工作原理并讨论了关键装置的设计要点,对抓取机械手的结构和运动轨迹进行了分析与优化。**结论** 该设计方案采用2个机械手分别完成单层码垛和整层抓取操作,设计合理,满足企业的使用要求。

关键词: 瓦楞纸板箱; 码垛机; 机械手

中图分类号: TB486+.03 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)09-0082-04

Design of Manipulators for Corrugated Box Board Automatic Palletizing System

XU Xue-meng, ZHANG Yong-yu, ZHANG Ying-xia, XU Yun

(Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to design an efficient automatic palletizing system which can be integrated to the end of the production line of corrugated box board. By studying on the 6 DOF palletizing robot and mechanical palletizing machine, based on the analysis of their advantages and disadvantages, the automatic palletizing system of corrugated box board was designed according to the request of the company. The AHP method was adopted in the design scheme, and the mechanical palletizing design scheme was chosen based on the request of the company and the situation of the production site. The design scheme for the novel corrugated box board automatic palletizing system was determined, the working principle and design essentials of the key device were introduced, and the structure and trajectory of the crawling manipulators were analyzed and optimized. In conclusion, this design scheme adopted two manipulators for single-layer stacking and whole-layer crawling operations, respectively. The design was reasonable, meeting the requirements of the corrugated boxes company.

KEY WORDS: corrugated box board; palletizing machine; manipulator

自动码垛机是将生产线上的产品按照一定的排列方式码放在托盘上,形成货运单元,便于适应机械化、大型化和高速化的现代物流操作。自动码垛机以其高速性、智能性、稳定性、可集成性等性能广泛应用于各种产品的生产线上,如食品饮料行业码垛、水泥自动装车码垛、工业品码垛等^[1-3]。自动码垛机按智能化水平分为机器人码垛机和机械式码垛机^[4-5]。瓦楞纸箱板自动码垛机是将完成纸板成形、印刷、模切、打

捆后的瓦楞纸箱板码放到托盘上,以解决人工码垛劳动强度大等问题,并提高工作效率。

1 瓦楞纸箱板自动码垛机设计技术要求

1.1 设计参数要求

郑州某纸箱制造企业提出的纸箱自动码垛机设

收稿日期: 2014-10-13

作者简介: 徐雪萌(1972—),女,河南南阳人,硕士,河南工业大学副教授,主要研究方向为包装工程。

计参数要求: 纸箱板的最小切长为 488 mm, 最大切长为 584 mm; 最小切宽为 766 mm, 最大切宽为 1114 mm; 纸箱板的最小面积为 0.182 m², 最大面积为 0.321 m²; 每平方米质量最小值为 0.43 kg/m², 最大值为 0.56 kg/m²; 每捆个数最少 20 个, 最多 50 个; 托盘尺寸的长×宽×高=1500 mm×1500 mm×250 mm; 码放速度为 15~17 捆/分; 码放高度应≤1900 mm。

1.2 纸箱板码垛机设计特点

分析设计参数可以看出, 待设计的纸箱板自动码垛装置应具有的特点: 码垛速度快, 码垛一捆纸箱板的时间为 3.5~4 s; 最大码放质量大, 依据纸箱面积、定量和每捆的个数, 单捆最大码放质量为 18 kg, 考虑工作系数, 设计最大码放质量为 20 kg, 即机械手的公称抓取质量为 20 kg; 一层四捆的码放质量为 80 kg; 最大码放高度约为 1900 mm; 设备可靠性好, 纸箱板在码放过程中不能变形、破损; 全自动码放、安全、经济、效率高。

2 瓦楞纸箱板自动码垛机总体设计方案

2.1 堆码方式的选择

产品在托盘上堆码的方式有 4 种: 重叠式、交错式、纵横式和旋转式^[6], 各种堆码方式见图 1, 要求托盘表面的利用率不低于 80%。在选择瓦楞纸箱板码垛方式时, 要结合纸箱板自动码垛机的特点、托盘与产品的尺寸关系及不同码垛方式的特点。该机因码垛高度高、质量大, 因此每层选择稳定性较好的旋转式, 奇数层和偶数层选择交错层的码垛方式。

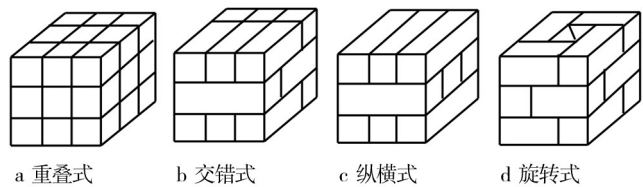


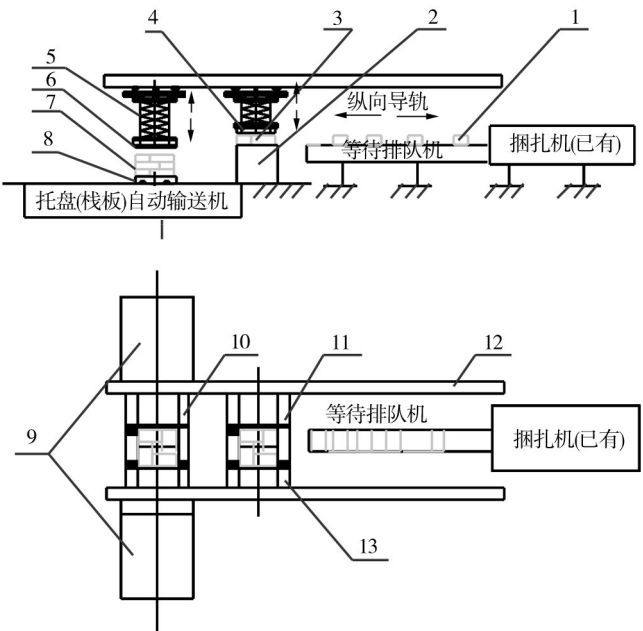
图 1 产品堆码方式示意
Fig.1 Product palletizing diagram

2.2 瓦楞纸箱板自动码垛机设计方案

2.2.1 设计方案的选择

自动码垛装置方案设计可以采用机器人码垛和机械式码垛(直角坐标机器人码垛)2 种方案, 设计方案采用 AHP 法^[7], 从设备功能、工作性能、经济性、可靠

性等方面进行具体分析, 并建立相应数学模型, 结合企业的要求和生产现场的条件, 选择机械式码垛设计方案(直角坐标机器人)。瓦楞纸箱板自动码垛机工作原理见图 2。



1. 纸箱板 2. 单层码放位 3. 栈板 4、11. 机械手 1 5. 伸缩架 6、10. 机械手 2 7. 码放的纸箱板 8. 托盘 9. 托盘输送装置 12. 纵向导轨 13. 横向导轨

图 2 瓦楞纸箱板自动码垛机示意
Fig.2 Diagram of automatic palletizing system for corrugated box board

机械式码垛机的核心部件是直线运动单元即直线导轨, 由精制铝型材、齿形带、直线运动滑轨和伺服电机等组成。整个系统的承载都集中到了安放导轨的型材上, 导轨必须有足够的强度和刚度, 以保证所需的机械强度和直线度。滑块导轨系统由滑动导轨和运动滑块组成, 传动装置可根据不同任务要求采用齿形带、齿条与齿轮啮合或滚珠丝杠。该机特点是负载范围大, 从几公斤到几吨; 运行速度快, 且速度可调整; 动作灵活, 可以完成复杂的码垛任务; 可靠性高, 维护简单。

2.2.2 工作原理与工作过程

整机主要组成部分包括瓦楞纸箱板输送缓冲装置、托盘输送装置、直线导轨、机械手 1、机械手 2、伸缩架、机架、电机和控制系统等。为适应高速和奇数、偶数层摆放方式, 本机使用 2 个机械手。工作过程为: 码放机械手 1 将在缓冲输送装置上待码垛的单捆纸箱板抓起并上升, 而后移动到单层码放工位, 在此工位位置下降, 并按照预定的堆码方式将纸箱板放到垛盘

上,循环4次,完成一层纸箱板的码垛。机械手2按照旋转踩奇数层和偶数层的码垛规律,将机械手1码放好的整层纸箱板码放在托盘上,直到规定的层数,完成1次工作循环。该机如果只使用1个机械手,在技术上有2个难点:奇数层和偶数层纸板的码放形式不同,机械手完成奇数层和偶数层码放运动轨迹不同;随着托盘上被码放纸板的层数增加,机械手在 z 轴方向的向下运动(完成将纸板放在托盘上)的距离减小。如果使用1个机械手,其运动复杂,将增加机械手运动控制的难度。使用2个机械手可将复杂的运动简单化,机械手1只完成将4捆纸箱板码放在踩盘上,每次工作循环的运动轨迹相同;机械手2的运动满足奇数层和偶数层的码放要求,以及改变机械手 z 轴方向的运动距离以适应码放高度的变化。

文中码垛机码垛一捆纸板的时间约为3.5~4 s,机械手1完成一个工艺循环所需的时间为14~16 s,机械手2完成一个工艺循环的时间约为4 s。依据企业车间预留的空间尺寸4 m×3 m×2 m,可选择直线导轨的最大速度为3~5 m/s,最大加速度为50~100 m/s²,来满足生产节拍的要求。

2.3 瓦楞纸箱板自动码垛机设计要点

2.3.1 码垛机械手类型选择和运动轨迹分析

常用的码垛机械手的类型分为夹托式、夹板式、真空吸盘和混合抓取等4种形式。夹托式机械手主要用于高速码垛,夹板式机械手用于箱盒的码垛,真空吸取式机械手利用真空吸盘码放,混合抓取机械手适合几个工位的协作码放。机械手的驱动方式有液压、气动和电动等3种方式。文中为防止纸箱板在码放过程中被划破或变形,采用夹托式手指形机械手,抓取时手指的位置应避开纸箱的切口位置。依据负载要求,该机的驱动装置采用电动和气动相结合的方式^[8]。机械手1和机械手2均可采用类似的结构。瓦楞纸箱板码垛机械手结构示意图见图3。

码垛机械手1为4自由度机械手,在码放过程中完成 x 、 y 、 z 轴移动和绕 z 轴旋转, z 方向移动距离约为1.5 m。 x 、 y 、 z 方向的移动由交流伺服电机提供动力,旋转可由驱动气缸带动,由PLC控制伺服电机和驱动气缸启停。由于抓取的质量较大,产生的运动惯量较大,所以运动中采用水平、垂直、旋转交替分开运动,以增加机械手的稳定性和协调性^[9-10]。

为分析机械手1的运动轨迹,见图4,设 O 点为码垛机械手1的初始位置,以 O 为原点建立直角坐标系 xOy , F 点为主传送链上待抓取纸箱板的中心,码垛的

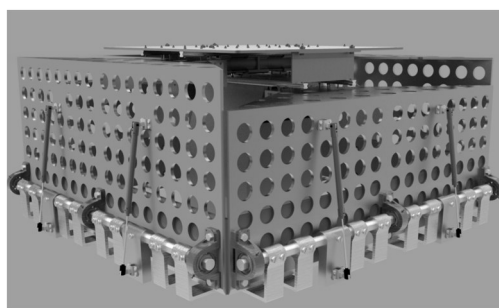


图3 夹托式机械手示意

Fig.3 Diagram of clamping manipulator

踩盘放置于 y 轴上, A 、 B 、 C 、 D 分别为踩盘上四捆纸箱板的中心,则机械手在完成一层四捆码垛过程中所运动的行程为 $S=x_A+y_A+x_B+y_B+x_C+y_C+x_D+y_D$, (x_A , x_B , x_C , x_D 分别为抓取过程中机械手1完成四捆纸箱板码垛沿 x 方向的行程, y_A , y_B , y_C , y_D 分别为抓取过程中机械手1沿 y 方向的行程。)可以利用优化的方法,求出 S 的最小值,即机械手1的水平运动最优轨迹。利用最优轨迹设计可以减少机械手的运动行程,并且可以以此来确定单层码放工位和机械手1初始的最佳相对位置^[11-13]。

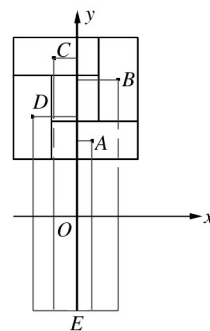


图4 机械手1工作行程

Fig.4 Working stroke of manipulator 1

码垛机械手2为按照要求实现整层码垛的目的,必须完成 x 、 z 方向的移动及旋转,并且 z 方向的移动范围较大,设计的移动最大距离约为2.2 m,可以设计3或4个自由度。在设计时应对机械手2在 z 方向上的运动轨迹进行优化,以提高工作效率。

机械手在工作过程中受静应力和变应力的作用,因此设计时应对机械手进行静力和动态力的有限元分析^[14],以检验机械手在结构强度、刚度上是否满足工作要求。机械手2的公称码放质量为80 kg,应以轻量化为目标进行结构优化^[15-16]。

2.3.2 其他装置设计与选择

电机、直线导轨、气缸、减速器等装置为标准件,

在设计时依据参数计算选择相应的型号。文中伺服电机采用交流伺服电机,其结构简单、运行可靠,使用维修方便,也可以采用减速器和电机集成一体机。直线导轨选用铝合金材质,要求具有耐蚀性、组装容易、互换容易、运转平稳、低噪音等特点。控制装置应实现PC化、网络化设计,并采用多传感器融合技术^[15]。

3 结语

纸箱板自动码垛装置采用框架结构,4根立柱受力、结构合理。使用双机械手分别完成单层码放、整层抓取码垛工艺,动作协调平稳,满足码垛生产能力的需要。该设备适用高速、重载纸箱板码垛,设计尽量采用标准化的元件,便于互换、减低设备成本。

参考文献:

- [1] 李晓刚,刘晋浩. 码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策[J]. 包装工程,2011,32(3):96—102.
LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. The Study and Application Status of the Robot for Palletizing, Problems and Countermeasures[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 96—102.
- [2] 赵堂春,黄敦华,杜均. 灌装生产线码垛机械手设计与研究[J]. 机电产品开发与创新,2007(1):34—35.
ZHAO Tang-chun, HUANG Dun-hua, DU Jun. The Design and Research of Filling Line Stacking Arm Palletizing[J]. Development and Innovation of Mechanical and Electrical Products, 2007(1): 34—35.
- [3] 胡洪国,高建华,杨汝清. 码垛技术综述[J]. 组合机床与自动化加工技术,2000(6):7—9.
HU Hong-guo, GAO Jian-hua, YANG Ru-qing. The Development of Palletizing Technology[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2000(6): 7—9.
- [4] HEMMINGSON E. Palletizing Robots Industry[J]. Industrial Robot, 1998, 25(6): 384—388.
- [5] SORENTI P. Rapid Palletizing Simulation in the Fast Lane[J]. Industrial Robot, 1996, 23(3): 16—19.
- [6] 彭国勋. 物流包装运输系统[M]. 北京:印刷工业出版社,2012.
PENG Guo-xun. Packaging Design of Logistics Transport[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [7] 张吉军. 层次分析法[J]. 模糊系统与数学,2000,14(2):80—83.
ZHANG Ji-jun. Fuzzy Analytical Hierarchy Process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000, 14(2): 80—83.
- [8] ARAKELIAN V, SARGSYAN S. On the Design of Serial Manipulators with Decoupled Dynamics[J]. Mechatronics, 2012(6): 904—909.
- [9] 付铁,李金泉,陈恳,等. 一种新型高速码垛机械手的设计与实现[J]. 北京理工大学学报,2007,27(1):17—20.
FU Tie, LI Jin-quan, CHEN Ken, et al. Novel Design and Implementation of High Speed Palletizing Manipulator[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2007, 27(1): 17—20.
- [10] RETHMANN J, WANKE E. Stack up Algorithms for Palletizing at Delivery Industry[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 128(1): 74—97.
- [11] 王建军. 搬运机械手仿真设计和制作[J]. 机械设计与制造, 2012(9): 146—148.
WANG Jian-jun. Simulation Design and Making for Carrying Manipulator[J]. Mechanical Design and Making, 2012(9): 146—148.
- [12] 张有良. 码垛机械手运动轨迹的研究[J]. 包装与食品机械, 2011(3): 20—23.
ZHANG You-liang. The Research on Stacking Manipulator Movement Locus[J]. Packaging and Food Machinery, 2011(3): 20—23.
- [13] 马占义,芮执元. 一种新型铝锭码垛机械手的研究与设计[J]. 新技术新工艺,2009(8):63—65.
MA Zhan-yi, RUI Zhi-yuan. Research and Design of a New Aluminum Ingot Stacking Robot Arm[J]. New Technology and New Process, 2009(8): 63—65.
- [14] 付铁. 新型码垛机械手动态载荷计算与选型[J]. 北京理工大学学报,2008(1):24—26.
FU Tie. Dynamic Computation and Type-selection Design of Palletizing Manipulator[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2008(1): 24—26.
- [15] 李金泉,段冰蕾,南倩. TH50型码垛机器人动态静力学分析[J]. 北京科技大学学报,2011,30(4):504—505.
LI Jin-quan, DUAN Bing-lei, NAN Qian. Kineto-static Analysis on a TH50 Type Palletizing Robot[J]. Journal University Science and Technology Beijing, 2011, 30(4): 504—505.
- [16] SIMIONESCU I, LIVIU C. The Static Balancing of the Industrial Robot Arms: Continuous Balancing[J]. Mechanism and Machine Theory, 2009, 35(9): 1299—1311.